

**KAJIAN PENGGUNAAN SEMULA LATEKS
GETAH ASLI LAMPAU MATANG**

ROHAIDAH BINTI ABD.RAHIM

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

1996

KAJIAN PENGGUNAAN SEMULA LATEKS GETAH ASLI LAMPAU MATANG

Oleh

ROHAIDAH BINTI ABD.RAHIM

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sains**

**Pusat Pengajian Teknologi Industri
Universiti Sains Malaysia
11800 USM
Pulau Pinang**

Februari 1996

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, bersyukur ke hadrat Allah kerana dengan keredaannya tesis ini dapat diselesaikan dengan sempurna.

Saya ingin merakamkan ucapan ribuan terima kasih dan penghargaan yang tidak terhingga kepada penyelia utama; Dr. Baharin Azahari di atas panduan, bimbingan dan ide-ide beliau dalam menjalankan penyelidikan dan penulisan tesis ini. Penghargaan ini juga saya tujukan kepada penyelia bersama; Prof. Madya Dr. Mohd. Nasir Zainal Arif di atas nasihat, tunjuk ajar dan teguran yang diberikan sepanjang projek ini.

Terima kasih juga diucapkan kepada semua pensyarah Bahagian Teknologi Polimer di atas kerjasama dalam melaksanakan projek ini. Kerjasama dan pertolongan secara langsung atau tak langsung dari rakan-rakan seperjuangan; Abd. Halim Abd. Latiff, Che' Mohd. Ruzaidi Ghazali, Tan Lan Wei dan Tan Lay Poh akan tetap dikenang. Buat rakan-rakan sealiran Zahaitun Mahani Zakariah, Afizah Ayob dan Norzaini Zainal Abidin, segala pengalaman, buah fikiran, sokongan dan persefahaman dalam menjalani kehidupan sebagai warga kampus Desa Permai, USM 1995/96 akan tetap diingati selalu. Al-Fatihah disedekahkan kepada arwah Ruhana Idris yang telah banyak memberi sokongan diawal-awal penyelidikan ini. Semuga Allah mencucuri rahmat ke atas rohnyanya.

Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pembantu-pembantu makmal yang terlibat dalam melicinkan lagi perjalanan penyelidikan ini; Md. Zandar Md. Saman, Syed Hamzah Syed Mohamad, Gnanasegaran a/l N.B Dorai, Mohd. Noor Sharif, Jannizar @ Ganesar Nonchik dan Mohamad bin Hasan.

Terima kasih kepada Dekan Pusat Pengajian Teknologi Industri ; Prof. Madya Dr. Azemi Mohd. Noor serta kakitangan pejabat Pusat Pengajian Teknologi Industri yang

telah memberikan kerjasama dalam penggunaan peralatan dan segala kemudahan di Pusat Pengajian Teknologi Industri ini.

Akhirnya, ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada keluarga tercinta kerana memahami dan pengorbanan serta sokongan bagi menyelesaikan program master ini; Mak dan Bak, Abang Yan dan Abang Noh, Kak Ros, Abang Alit dan Cik Mah, Kak Ana, Izra dan sumber inspirasi Cik Ai; Mohd. Khairul Anwar, Mohd. Syafi'ie, Mohd. Izat, Mohd. Faiz dan Siti Khairun Nisak. Tanpa mereka tesis ini tiada maknanya.

Ikhlas,



(ROHAIDAH ABD. RAHIM)

1996

KANDUNGAN

	MUKASURAT
TAJUK	i
PENGHARGAAN	ii
KANDUNGAN	iv
SENARAI JADUAL	xii
SENARAI RAJAH	xiii
SENARAI LAMPIRAN	xxi
SINGKATAN	xxii
ABSTRAK	xxiii
ABSTRACT	xxv
BAB 1 PENGENALAN DAN TINJAUAN LITERATUR	1
1.1 Pengenalan	1
1.1.1 Penjanaan Sekerap Getah	2
1.1.2 Sekerap Getah Asli di Malaysia	2
1.2 Teknik-teknik Penghapusan Getah Sekerap	4
1.2.1 Penggunaan Sekerap Secara Terus	4
A. Penanaman	5
B. Pembakaran	5
C. Penggunaan Sekerap dari Getah sebagai Produk	6
D. Pengisaran	7
a. Pengisaran Ambien/Mekanikal	7
b. Pengisaran Basah/Larutan	8
c. Pengisaran Kriogenik	8

1.2.2 Pengubahsuaian Kimia pada Sekerap	9
A. Tebus Guna	9
a. Proses Pencernaan (Digester)	11
b. Proses 'Pan'	11
c. Proses Mekanikal	12
B. Pirolisis	13
1.3 Penggunaan Getah Sekerap dan Kesan pada Sifat-sifat Produk	13
1.3.1 Penggunaan Getah Sekerap Sahaja	14
1.3.2 Penggunaan Getah Sekerap sebagai Pengisi dan 'Cheapener'	15
A. Penggunaan Getah Sekerap sebagai Pengisi	15
B. Penggunaan Getah Sekerap sebagai 'Cheapener'	17
1.3.3 Penggunaan Sekerap dalam Bitumen	17
1.3.4 Penggunaan Sekerap dalam Perekat	18
1.3.5 Lain-lain	18
1.4 Masalah yang Berkaitan dengan Penggunaan Getah Sekerap	19
1.5 Pengisi	21
1.5.1 Ciri Pengisi	22
1.5.2 Mekanisma Pengukuhan	23
1.6 Faktor yang mempengaruhi Sifat-sifat Vulkanisat	25
1.6.1 Sifat Reologi Sebatian Tak Tervulkan	25
A. Kelikatan Mooney	25
B. Keadaan Pematangan	26
1.6.2 Ketumpatan Sambung-silang	27
A. Pengaktif/pemecut dan pengaktif-pemecut	28

B. Masa dan Suhu Pemvulkanan	28
C. Pengisi	29
1.6.3 Kekuatan Tensil	33
A. Ketumpatan Sambung-silang	34
B. Sistem Pemvulkanan	35
C. Kehabluran	36
D. Pengisi	39
E. Kadar Deformasi dalam Ujian Tensil	40
F. Suhu	40
1.6.4 Pemanjangan Pada Takat Putus	41
A. Ketumpatan Sambung-silang	41
B. Pengisi	41
C. Jenis Sambung-silang	42
1.6.5 Modulus	43
A. Ketumpatan Sambung-silang	43
B. Pengisi	44
1.6.6 Kekerasan	46
A. Ketumpatan Sambung-silang	46
B. Pengisi	46
1.6.7 Resiliens Pantulan	47
A. Ketumpatan Sambung-silang	48
B. Pengisi	49
C. Suhu	51
1.6.8 Set Mampatan	51
A. Ketumpatan Sambung-silang	52
B. Pengisi	53
C. Suhu dan Masa	54

1.7 Adunan Polimer	55
A. Komposit	55
a. Peranan Gentian	56
b. Peranan Matriks	56
1.7.1 Gaulan Terlarutcampur	58
1.7.2 Gaulan Serasi	58
1.7.3 Gaulan Tak Terlarutcampur dan Tak Serasi	59
1.7.4 Interaksi Adunan Polimer	59

BAB 2 BAHAN-BAHAN, PERALATAN DAN TATACARA EKSPERIMEN

2.1 Pengenalan	61
2.2 Objektif Penyelidikan	61
2.3 Bahan-bahan	62
2.4 Peralatan	63
2.5 Tatacara Eksperimen	64
2.5.1 Penyediaan Lateks Tersebati	64
2.5.2 Penghasilan Serbuk Getah	65
A. Pelarut dan Amoun Pelarut	66
a. Ujian Indeks Pembengkakan	66
B. Masa Penapisan dan Keadaan Pengeringan	67
2.5.3 Pencirian Serbuk	67
A. Saiz dan Bentuk Partikel Serbuk Getah	68
B. Taburan Saiz Partikel	68
C. Ketumpatan Ketara	69
D. Pengekstrakan	70

2.5.4 Penyebatian Serbuk Getah Kering	70
A. Kelikatan Mooney	72
B. Penentuan Masa Pematangan	72
C. Penyediaan Vulkanisat	73
D. Kajian Morfologi	73
E. Kaedah Pembengkakan Keseimbangan	74
F. Ujian Tensil	74
G. Kekerasan	75
H. Resiliens Pantulan	76
I. Set Mampatan	77
 BAB 3 PENYEDIAAN DAN PENCIRIAN SERBUK GETAH	 80
3.1 Pengenalan	80
3.2 Eksperimen	80
3.3 Keputusan dan Perbincangan	81
3.3.1 Kaedah Pencirian	81
A. Kesan jenis dan amoun pelarut pada ciri-ciri serbuk getah	81
a. Ujian Indeks Pembengkakan	83
B. Kesan Masa Penapisan	85
C. Kaedah Pengeringan	86
D. Kesan Keadaan Pematangan Lateks pada Serbuk Getah	88
3.3.2 Pencirian Serbuk	89
A. Saiz dan Bentuk Serbuk Getah	89
B. Taburan Saiz Partikel Serbuk Getah	91
C. Ketumpatan Ketara Serbuk Getah	93
D. Pengekstrakan Serbuk Getah	93
3.4 Kesimpulan	96

BAB 4 POTENSI SERBUK GETAH SEBAGAI PENGISI	97
4.1 Pengenalan	97
4.2 Kelakuan Getah Tak Tervulkan	98
4.2.1 Eksperimen	98
4.2.2 Keputusan dan Perbincangan	99
A. Kelikatan Mooney Sebatian	99
B. Kesan pada Masa Pematangan dan Nilai Tork	101
4.3 Kajian Morfologi	103
4.3.1 Eksperimen	103
4.3.2 Keputusan dan Pebincangan	105
4.4 Sifat Vulkanisat	107
4.4.1 Eksperimen	107
4.4.2 Keputusan dan Perbincangan	107
A. Ketumpatan Sambung-silang	107
B. Kesan pada Sifat Tensil	112
C. Kebolehlenturan Vulkanisat Terisi Serbuk Getah	120
a. Sifat Kekerasan	120
b. Resiliens Pantulan	125
c. Set Mampatan	128
4.5 Kesan pada Keadaan Pra-pemvulkanan pada Sifat-sifat Vulkanisat	132
4.5.1 Eksperimen	132
4.5.2 Keputusan dan Perbincangan	132
A. Peratusan Molekul Tak Tersambung-silang dalam Serbuk Getah	132
B. Kesan Serbuk Getah pada Kelakuan Sebatian Tak Tervulkan	133
C. Kesan Serbuk Getah pada Sifat Tensil	139
D. Kesan Serbuk Getah pada Sifat Kebolehlenturan	143
4.6 Kesimpulan	147

BAB 5 POTENSI SERBUK GETAH SEBAGAI 'CHEAPENER'	148
5.1 Pengenalan	148
5.2 Sebatian 'Cheapener'	148
5.2.1 Eksperimen	148
5.2.2 Keputusan dan Perbincangan	149
5.3 Morfologi 'Cheapener'	153
5.3.1 Eksperimen	153
5.3.2 Keputusan dan Perbincangan	153
5.4 Sifat-sifat Vulkanisat 'Cheapener'	155
5.4.1 Eksperimen	155
5.4.2 Keputusan dan Pebincangan	156
A. Ketumpatan Sambung-silang	156
B. Sifat Tensil	158
C. Kekerasan	161
D. Resiliens Pantulan	164
E. Set Mampatan	166
5.5 Kesimpulan	169
 BAB 6 KAJIAN GAULAN SERBUK GETAH/NR	 170
6.1 Pengenalan	170
6.1.1 Gaulan Serbuk Getah dalam Penyebatian Pengisi	170
6.1.2 Gaulan Serbuk Getah dalam Penyebatian 'Cheapener'	171
6.1.3 Pengiraan Interaksi pengisi-matriks (I)	175
6.2 Keputusan dan Perbincangan	175
6.2.1 Sifat Adunan	175
A. Peningkatan Sifat Vulkanisat dengan Peningkatan Interaksi Pengisi-matriks (I)	177
a. Kelikatan Mooney	177

b. Modulus	179
c. Resiliens Pantulan	179
d. Set Mampatan	179
B. Kesenambungan Sifat Vulkanisat dan Interaksi Pengisi-matriks (I)	183
a. Masa Pematangan	183
b. Kekuatan Tensil	186
C. Ketidakselarian Sifat Vulkanisat dan Interaksi Pengisi-matriks (I)	189
a. Ketumpatan Sambung-silang	189
b. Nilai Tork	191
c. Kekerasan	191
d. Pemanjangan Pada Takat Putus	191
6.3 Kesimpulan	196
 BAB 7 KESIMPULAN DAN CADANGAN KERJA LANJUTAN	197
7.1 Kesimpulan	197
7.1.1 Penyediaan dan Pencirian Serbuk Getah	197
7.1.2 Potensi Serbuk Getah sebagai Pengisi	198
7.1.3 Potensi Serbuk Getah sebagai 'Cheapener'	199
7.1.4 Kajian Gaulan Serbuk Getah/NR	199
7.2 Cadangan Kerja Lanjutan	199
 RUJUKAN	202
LAMPIRAN	210

SENARAI JADUAL

Jadual	Mukasurat	
2.1	Bahan-bahan yang digunakan untuk menyediakan sebatian lateks, serbuk getah dan sebatian getah kering.	62
2.2	Peralatan bagi penyediaan lateks tersebati dan serbuk getah.	63
2.3	Peralatan bagi penyebatian dan pengujian vulkanisat.	63
2.4	Formulasi bagi pra-pemvulkanan lateks.	64
2.5	Ramuan-ramuan penyebatian bagi 50% dispersi kimia dalam penggiling bebola berisipadu 1000 cm ³ .	65
2.6	Formulasi bagi penyebatian pengisi.	71
2.7	Formulasi bagi penyebatian `cheapener`.	71
3.1	Kesan pelarut pada ciri-ciri serbuk getah yang terhasil.	82
3.2	Kesan nisbah pelarut kepada ciri-ciri serbuk getah.	83
3.3	Kesan masa penapisan pada ciri-ciri serbuk getah.	86
3.4	Kaedah pengeringan.	86
3.5	Kesan keadaan pematangan pada ciri-ciri serbuk getah	88

SENARAI RAJAH

Rajah	Mukasurat
1.1 Corak taburan sekerap getah di Malaysia.	3
1.2 Pasaran kitaran semula getah di U.S. pada 1990.	7
1.3 Proses tebus guna dalam industri getah.	10
1.4 Model gelinciran molekul bagi mekanisma pengukuhan pengisi.	24
1.5 Skematik diagram menunjukkan kesan pengukuhan pengisi.	25
1.6 Reograf bagi pemvulkanan sebatian terisi hitam karbon dalam NR dan 45 bsg getah kisar. A. 0 bsg, B. 20 bsg, C. 40 bsg, D. 60 bsg hitam karbon.	26
1.7 Skematik diagram sampel terbengkak bagi pengisi tak-melekat dalam vulkanisat getah. ϕ adalah pecahan isipadu pengisi dan V_r adalah pecahan isipadu getah dalam gel terbengkak.	30
1.8 Kesan V_{ro}/V_{rf} pada pengisi melekat dan pengisi tak-melekat dan pecahan isipadu pengisi (ϕ) dalam pelarut yang berbeza dalam sebatian SBR.	32
1.9 Kesan darjah penghadan pembengkakan bagi pengisi hitam karbon.	33
1.10 Kesan sambung-silang ke atas kekuatan tensil.	34
1.11 Kesan jenis sambung-silang pada kekuatan tensil getah asli.	35
1.12 Penerangan skematik bagi ketumpatan sambung-silang tinggi yang akan memberi kekuatan tensil yang rendah.	37
1.13 Kesan ketumpatan sambung-silang pada kekuatan tensil dan pemanjangan pada takat putus (EB) dalam pemvulkanan peroksida.	38

1.14	Peningkatan kandungan pengisi hitam pada kekuatan tensil dalam pemvulkanan sistem lazim dan efisien.	39
1.15	Kesan penambahan pengisi hitam karbon pada nilai pemanjangan pada takat putus bagi pemvulkanan sistem lazim dan efisien.	42
1.16	Kesan ketumpatan sambung - silang pada M300 bagi vulkanisat NR.	44
1.17	Kesan penambahan pengisi hitam karbon pada M300 bagi sistem pemvulkanan lazim dan efisien.	45
1.18	Kesan penambahan pengisi ke atas kekerasan bagi sistem pemvulkanan lazim dan efisien.	47
1.19	Kesan penambahan pengisi ke atas resiliens bagi sistem pemvulkanan lazim dan efisien.	50
1.20	Resiliens pantulan sebagai fungsi suhu bagi (1) getah asli, (2) getah nitril dan (3) SBR.	51
1.21	Gambarajah skematik yang menunjukkan sambung-silang 'labile' menyokong set mampatan. a.rangkaian asal vulkanisat, b. rangkaian dimampat pada suhu di mana sambung-silang 'labile' akan menyebabkan perubahan dan c.tanpa deformasi, perubahan sambung - silang semasa mampatan mencegah pemulihan sepenuhnya kepada bentuk asal.	53
1.22	Kesan pengisi ke atas set mampatan bagi sistem pemvulkanan lazim dan efisien.	54
1.23	Kebergantungan komposisi sifat gaulan pada poligaulan terlarutcampur.	60
2.1	Cara penentuan saiz partikel.	68
2.2	Bentuk dumbel bagi ujian tensil.	75

2.3	Peralatan bagi set mampatan.	78
3.1	Kesan pelarut pada indeks pembengkakan filem lateks yang dimatangkan pada masa yang berlainan.	84
3.2	Carta penghasilan serbuk getah	87
3.3(a)	Bentuk serbuk getah dengan saiz partikel 394 x 326 μm . Pembesaran 200x.	89
3.3(b)	Bentuk serbuk getah dengan saiz partikel 500 x 315 μm . Pembesaran 200x.	90
3.3(c)	Bentuk serbuk getah dengan saiz partikel 440 x 276 μm . Pembesaran 200x.	90
3.3(d)	Bentuk serbuk getah dengan saiz partikel 366 x 351 μm . Pembesaran 200x.	91
3.4	Purata taburan saiz partikel serbuk getah (% jisim) pada julat saiz serbuk getah tertentu.	92
3.5	Kesan ke atas ketumpatan ketara serbuk getah dengan jangkamasa penyimpanan.	94
3.6	Ketumpatan sambung-silang bagi filem lateks lampau matang dan peratusan pengekstrakan serbuk getah pada masa pra-pemvulkanan yang berbeza.	95
4.1	Kesan penambahan serbuk getah ke atas nilai kelikatan Mooney sebatian pada 120°C.	100
4.2	Kesan penambahan serbuk ke atas masa pematangan bagi sebatian terisi serbuk getah dan hitam karbon pada 140°C.	102
4.3	Kesan penambahan serbuk ke atas tork maksima dan tork minima sebatian terisi serbuk getah.	104
4.4	Gambarajah mikroskop bagi gam NR. Pembesaran 2000x.	105

4.5	Gambarajah mikroskop bagi vulkanisat 50 bsg serbuk getah. Pembesaran 2000x.	106
4.6	Gambarajah mikroskop bagi vulkanisat 100 bsg serbuk getah. Pembesaran 2000x.	106
4.7	Kesan penambahan serbuk ke atas ketumpatan sambung- silang bagi vulkanisat terisi serbuk getah dan hitam karbon dari ujian pembengkakan keseimbangan dalam toluena pada 35°C.	108
4.8	Kesan kandungan serbuk getah pada peratusan perubahan jisim terbengkak dari ujian pembengkakan keseimbangan.	110
4.9	Kesan kandungan serbuk getah pada pecahan isipadu terbengkak (V_r) bagi vulkanisat terisi terbengkak dari ujian pembengkakan keseimbangan.	111
4.10	Kesan penambahan serbuk getah ke atas nilai interaksi pengisi-matriks (C) pada vulkanisat.	112
4.11	Kesan penambahan serbuk ke atas kekuatan tensil vulkanisat terisi serbuk getah dan hitam karbon.	114
4.12	Kesan interaksi pengisi-matriks (C) pada kekuatan tensil dan pemanjangan pada takat putus (EB) bagi vulkanisat terisi serbuk getah dan hitam karbon.	116
4.13	Kesan penambahan serbuk ke atas pemanjangan pada takat putus bagi vulkanisat terisi serbuk getah dan hitam karbon.	118
4.14	Kesan penambahan serbuk ke atas M100 dan M300 bagi vulkanisat terisi serbuk getah dan hitam karbon.	120
4.15	Kesan interaksi pengis - matriks (C) pada M100 dan M300 bagi vulkanisat terisi serbuk getah.	122
4.16	Kesan penambahan serbuk ke atas kekerasan vulkanisat terisi serbuk getah dan hitam karbon.	124

4.17	Kesan interaksi pengisi - matriks (C) pada kekerasan vulkanisat terisi serbuk getah.	125
4.18	Kesan penambahan serbuk pada peratusan resiliens pantulan (tanpa pembetulan) pada suhu 24°C, 60°C dan 100°C bagi vulkanisat terisi serbuk getah dan hitam karbon.	127
4.19	Kesan interaksi pengisi-matriks (C) pada resiliens pantulan bagi vulkanisat terisi serbuk getah pada suhu 24°C, 60°C dan 100°C.	128
4.20	Kesan penambahan serbuk getah pada peratusan resiliens pantulan (pembetulan) pada suhu 24°C, 60°C dan 100°C bagi vulkanisat terisi serbuk getah.	130
4.21	Kesan penambahan serbuk ke atas set mampatan bagi vulkanisat terisi serbuk getah dan hitam karbon.	131
4.22	Kesan interaksi pengisi-matriks (C) pada set mampatan bagi vulkanisat terisi serbuk getah.	132
4.23	Kesan keadaan pra-pemvulkanan lateks ke atas peratusan pengestrakan serbuk getah.	134
4.24	Kesan keadaan pra-pemvulkanan lateks ke atas ketumpatan sambung-silang vulkanisat.	136
4.25	Kesan keadaan pra-pemvulkanan lateks ke atas interaksi pengisi-matriks (C) bagi vulkanisat.	137
4.26	Kesan keadaan pra-pemvulkanan lateks pada kelikatan Mooney sebatian pada suhu 120°C.	138
4.27	Kesan keadaan pra-pemvulkanan lateks pada masa pematangan vulkanisat pada suhu 140°C.	140
4.28	Kesan keadaan pra-pemvulkanan lateks pada kekuatan tensil dan pemanjangan pada takat putus (EB) vulkanisat.	141

4.29	Kesan keadaan pra-pemvulkanan lateks pada M100 dan M300 vulkanisat.	142
4.30	Kesan keadaan pra-pemvulkanan lateks pada kekerasan vulkanisat.	144
4.31	Kesan keadaan pra-pemvulkanan lateks pada resiliens pantulan vulkanisat pada suhu ujian 24°C, 60°C dan 100°C.	145
4.32	Kesan keadaan pra-pemvulkanan lateks pada set mampatan vulkanisat pada suhu ujian 70°C dan 100°C.	146
5.1	Kesan penambahan serbuk getah sebagai `cheapener` pada kelikatan Mooney vulkanisat pada suhu 120°C.	150
5.2	Kesan penambahan serbuk getah sebagai `cheapener` pada masa pematangan vulkanisat pada suhu 140°C.	151
5.3	Kesan penambahan serbuk getah sebagai `cheapener` pada tork maksima dan tork minima sebatian.	152
5.4	Gambarajah mikroskop vulkanisat terisi hitam karbon pada nisbah SMR L:serbuk getah (100:0). Pembesaran 8000x.	154
5.5	Gambarajah mikroskop vulkanisat `cheapener` pada nisbah SMR L:serbuk geath (50:50). Pembesaran 8000x.	154
5.6	Gambarajah mikroskop vulkanisat `cheapener` pada nisbah SMR L:serbuk getah (50:50). Pembesaran 20,000 x.	155
5.7	Kesan penambahan serbuk getah sebagai `cheapener` pada ketumpatan sambung - silang vulkanisat dari ujian keseimbangan pembengkakan dalam pelarut toluena pada 35°C.	157
5.8	Kesan penambahan serbuk getah sebagai `cheapener` pada kekuatan tensil dan pemanjangan pada takat putus (EB) vulkanisat.	159

5.9	Kesan penambahan serbuk getah sebagai `cheapener` pada M100 dan M300 vulkanisat.	162
5.10	Kesan penambahan serbuk getah sebagai `cheapener` pada kekerasan vulkanisat.	163
5.11	Kesan penambahan serbuk getah sebagai `cheapener` pada resiliens pantulan vulkanisat pada suhu ujian 24°C, 60°C dan 100°C.	165
5.12	Kesan penambahan serbuk getah sebagai `cheapener` pada kehilangan tangen ($\tan \delta$) bagi vulkanisat.	167
5.13	Kesan penambahan serbuk getah sebagai `cheapener` pada set mampatan vulkanisat pada suhu ujian 70°C dan 100°C.	168
6.1	Gambarajah skematik gaulan SMR L dengan serbuk getah.	172
6.2	Gambarajah skematik bagi gaulan `cheapener`.	173
6.3	Kesan nisbah serbuk getah:SMR L ke atas koefisien interaksi pengisi-matriks (I) bagi sebatian sebagai pengisi dan `cheapener`.	176
6.4	Kesan koefisien interaksi pengisi - matriks (I) ke atas kelikatan Mooney pada 120°C bagi sebatian sebagai pengisi dan `cheapener`.	178
6.5	Kesan koefisien interaksi pengisi - matriks (I) ke atas M100 dan M300 bagi sebatian sebagai pengisi dan `cheapener`.	180
6.6	Kesan koefisien interaksi pengisi-matriks (I) pada resiliens pantulan pada suhu ujian 24°C, 60°C dan 100°C bagi sebatian sebagai pengisi dan `cheapener`.	181

6.7	Kesan koefisien interaksi pengisi-matriks (I) pada set mampatan pada suhu ujian 70°C dan 100°C bagi sebatian sebagai pengisi dan `cheapener`.	182
6.8	Kesan nisbah serbuk getah:SMR L ke atas masa pematangan bagi sebatian sebagai pengisi dan `cheapener`.	184
6.9	Kesan koefisien interaksi pengisi-matriks (I) pada masa pematangan bagi vulkanisat bagi sebatian sebagai pengisi dan `cheapener` pada suhu 140°C.	185
6.10	Kesan nisbah serbuk getah:SMR L ke atas kekuatan tensil bagi vulkanisat sebagai pengisi dan `cheapener`.	187
6.11	Hubungan kekuatan tensil kepada koefisien interaksi pengisi-matriks (I).	188
6.12	Kesan koefisien interaksi pengisi-matriks (I) ke atas ketumpatan sambung-silang bagi vulkanisat sebagai pengisi dan `cheapener`.	190
6.13	Kesan koefisien interaksi pengisi-matriks (I) ke atas nilai tork bagi vulkanisat sebagai pengisi dan `cheapener`.	191
6.14	Kesan koefisien interaksi pengisi-matriks (I) ke atas sifat kekerasan bagi vulkanisat sebagai pengisi dan `cheapener`.	193
6.15	Hubungan interaksi pengisi - matriks (I) ke atas pemanjangan pada takat putus.	194
6.16	Kesan nisbah serbuk getah:SMR L pada pemanjangan pada takat putus bagi vulkanisat sebagai pengisi dan `cheapener`.	195

SENARAI LAMPIRAN

Lampiran	Mukasurat
1. Pengiraan ketumpatan sambung-silang kaedah pengiraan pembengkakan keseimbangan.	210
2. Pengiraan koefisen interaksi pengisi-matriks (I) dalam adunan.	212
3. Pengiraan resiliens pantulan (pembetulan damping).	214

SINGKATAN

A/O 2246	2,2'-metilena bis-(4-metil-6-t-butil fenol)
bsg	bahagian per seratus getah
EPDM	getah etilena-propilena
HA	kandungan ammonia tinggi
KOH	kalium hidroksida
LDPE	polietilena (ketumpatan rendah)
MEK	metil etil keton
M100	modulus pada pemanjangan 100%
M300	modulus pada pemanjangan 300%
MBTS	benzotiazil disulfida
MT	metrik tan
NH ₃	ammonia
NR	getah asli
N330 HAF	hitam karbon (geseran tinggi - relau)
N774 SRF	hitam karbon (semi pengukuh - relau)
ppm	pusingan per minit
PVC	poli(vinil klorida)
PVC/ABS	gaulan poli(vinil klorida)/akrilonitril-butadiena-stirena
PV18	pra-pemvulkanan lateks selama 18 jam, 70°C
PV30	pra-pemvulkanan lateks selama 30 jam, 70°C
PV3,90°C	pra-pemvulkanan lateks selama 3 jam, 90°C
RH	hidrokarbon getah
S	sulfur
SG-18	serbuk getah dari PV18
SBR	getah stirena butadiena
ZDEC	zink dietilditiokarbamat
ZnO	zink dioksida
μm	mikrometer

ABSTRAK

Produk dan sekerap getah dikitar semula secara meluas bertujuan untuk memanjangkan jangka hayat penggunaannya, mengurangkan kos pembuatan dan mengurangkan pencemaran pada alam persekitaran. Walau bagaimanapun aktiviti pengitaran semula sisa lateks kurang dilakukan. Sisa lateks biasanya akan dibuang dengan menanamnya dalam tanah. Dalam projek ini, penggunaan semula sisa lateks telah direkapi di mana lateks ditukarkan kepada serbuk. Serbuk yang dihasilkan diguna dalam pembuatan produk getah.

Sisa lateks yang diguna dalam projek ini adalah lateks lampau matang. Lateks lampau matang ditukar kepada serbuk melalui pencampuran lateks kepada pelarut dalam nisbah 1 bahagian lateks kepada 2 bahagian pelarut. Didapati keadaan penyediaan serbuk yang paling sesuai adalah menggunakan pelarut xilen dan penapisan serbuk selepas 2 jam penambahan pelarut dan pengeringan dilakukan pada suhu bilik.

Serbuk yang terhasil diguna sebagai pengisi dan 'cheapener' dalam penyebatan SMR L. Sifat-sifat vulkanisat yang dihasilkan dibanding dengan sifat-sifat vulkanisat bagi sebatian terisi hitam karbon. Dari keputusan, didapati masa pematangan sebatian berkurang dengan peningkatan amoun serbuk getah dalam sebatian. Kelikatan Mooney dan tork sebatian adalah lebih tinggi bagi sebatian yang mengandungi serbuk getah berbanding sebatian terisi hitam karbon.

Gabungan serbuk getah dalam sebatian memberi kesan yang baik pada kekuatan tensil dan pemanjangan pada takat putus vulkanisat. Vulkanisat yang mengandungi 50 bsg serbuk getah sebagai pengisi atau 'cheapener' mempunyai kekuatan dan keliatan sebagaimana vulkanisat yang mengandungi 50 bsg hitam karbon. Penambahan serbuk getah dalam sebatian kurang mempengaruhi sifat-sifat ketumpatan sambung-silang,

modulus, kekerasan, resiliens dan set mampatan.

Dapat diperhatikan juga bahawa perubahan keadaan pra-pemvulkanan sebatian lateks telah menghasilkan serbuk getah yang mempunyai sifat-sifat yang berbeza. Sebatian yang mengandungi 50 bsg dari lateks yang dipra-vulkan pada masa pra-pemvulkanan yang lebih panjang mempunyai masa pematangan (t_{90}), modulus pada pemanjangan 300% dan set mampatan yang lebih tinggi. Walau bagaimanapun sifat-sifat ketumpatan sambung-silang, kekuatan tensil dan pemanjangan pada takat putus vulkanisat adalah rendah.

Study on the Recycling of Overcured Natural Rubber Latex

ABSTRACT

Rubber products and scraps are extensively recycled to prolong its usage, reduce manufacturing cost and to reduce environmental pollution. The recycling activities on waste latex, however, is not extensive. The waste latex is usually discarded by burying it in the ground. In this project, a method to reuse the waste latex is invented which could turn the waste latex to powder. The resulting powder is used in making rubber products.

The waste latex used in this project is overcured latex. The overcured latex is turned to powder by mixing the latex with solvent in the ratio of 1 part latex to 2 parts solvent. It is found that the best conditions to produce the powder is to use xylene as solvent and sieving of the powder is done after 2 hours of addition of solvent and drying at room temperature.

The resulting powder is used as filler and cheapener in SMR L compound. The properties of the vulcanisates are compared with those containing carbon black as fillers. Results obtained showed that the curing time of compounds decreases with increasing amount of rubber powder in compounds. Also it is observed that Mooney viscosity and torque of compounds containing rubber powder are higher than the carbon black filled compounds.

Incorporation of rubber powder in the compounds has great effect on the tensile strength and elongation at break of the vulcanisates. Vulcanisates containing 50 pphr rubber powder as filler or cheapener are as strong as and tougher than those containing 50 pphr carbon black. Addition of rubber powder to the compounds has little effect on

crosslink density, modulus, hardness, resilience and compression set.

It is also observed that changing the pre-vulcanisation conditions of the latex compound resulted in rubber powder having different properties. Compounds containing rubber powder made from latex that is pre-vulcanised at longer pre-vulcanisation time have longer curing time (t_{90}), higher modulus at 300% elongation and compression set. However, the crosslink density, tensile strength and elongation at break of these vulcanisates are lower.

Pengenalan dan Tinjauan Literatur

1.1 Pengenalan

Pengitaran semula bahan-bahan berasaskan polimer secara umumnya adalah satu proses penggunaan semula sekerap polimer untuk menghasilkan produk yang bernilai dan boleh diguna semula samada untuk tujuan yang sama, mempunyai kualiti yang lebih baik atau kurang mutunya dari produk asal (1 - 3). Pengitaran semula bertujuan memanjangkan jangka hayat penggunaan sesuatu barang atau meneruskan perkhidmatannya. Ia melibatkan pemulihan bahan atau tenaga dari segi nilai ekonomi meliputi sisa pembinaan, industri dan sisa-sisa keperluan rumah.

Pada peringkat awal industri getah, getah yang ada dalam pasaran hanyalah getah asli, yang mahal harganya dan sukar didapati. Atas alasan ini maka proses pengitaran semula dilakukan ke atas sekerap getah asli ini secara tekanan stim dan penyahvulkanan getah atau lebih dikenali sebagai proses tebus guna. Ia seiring dengan bermulanya industri getah dari penemuan kaedah pemvulkanan oleh Charles Goodyear pada tahun 1844 (4).

Malaysia adalah merupakan salah sebuah negara pengeluar getah asli terbesar di dunia. Negara kita mengeluarkan sebanyak 1,100,000 metrik tan (MT) dan menggunakan sebanyak 220,000 MT getah asli setahun. Aktiviti pemprosesan getah ini menghasilkan 110,000 MT/tahun getah sekerap yang mendatangkan masalah pembuangan di bawah peraturan 'Akta Kualiti Alam Persekitaran' (1974), 'Akta Kualiti Udara Bersih' (1979), 'Akta Ancaman Persekitaran' (1992) (5).

Proses pengitaran semula dapat ditingkatkan dengan mempertimbangkan keperluan-keperluan berikut (1,6 - 9):

- a. keutamaan diberi pada proses yang menggunakan sumber asli untuk pemulihan dan pengitaran semula bahan mentah ;
- b. proses hanya memberi kesan yang minima pada kestabilan industri selari dengan objektif pengitaran semula dan pemeliharaan alam persekitaran ;
- c. pasaran yang terbuka dan meluas bagi produk-produk yang dihasilkan dari sekerap yang dikitar semula ;
- d. penggunaan sekerap terkitar semula yang dapat memberi sifat - sifat produk yang baik dan bernilai komersial ;
- e. kos pengitaran semula yang minima agar dapat bersaing dalam sistem ekonomi ; dan
- f. melibatkan kerjasama semua golongan masyarakat.

1.1.1 Penjanaan Sekerap Getah

Sekerap semakin banyak terjana bukan sahaja di Malaysia, malahan di negara-negara lain seperti Jepun, USA, German dan Korea. Sekerap terjana akibat dari aktiviti-aktiviti berikut :

- a. bahan mentah yang tidak menepati spesifikasi pembuatan seperti lateks lampau matang dan produk yang tak menepati spesifikasi produk ;
- b. lebihan dari penghasilan produk ;
- c. perkembangan industri automotif yang pesat ; dan
- d. produk yang tidak boleh diguna lagi atau tamat perkhidmatannya.

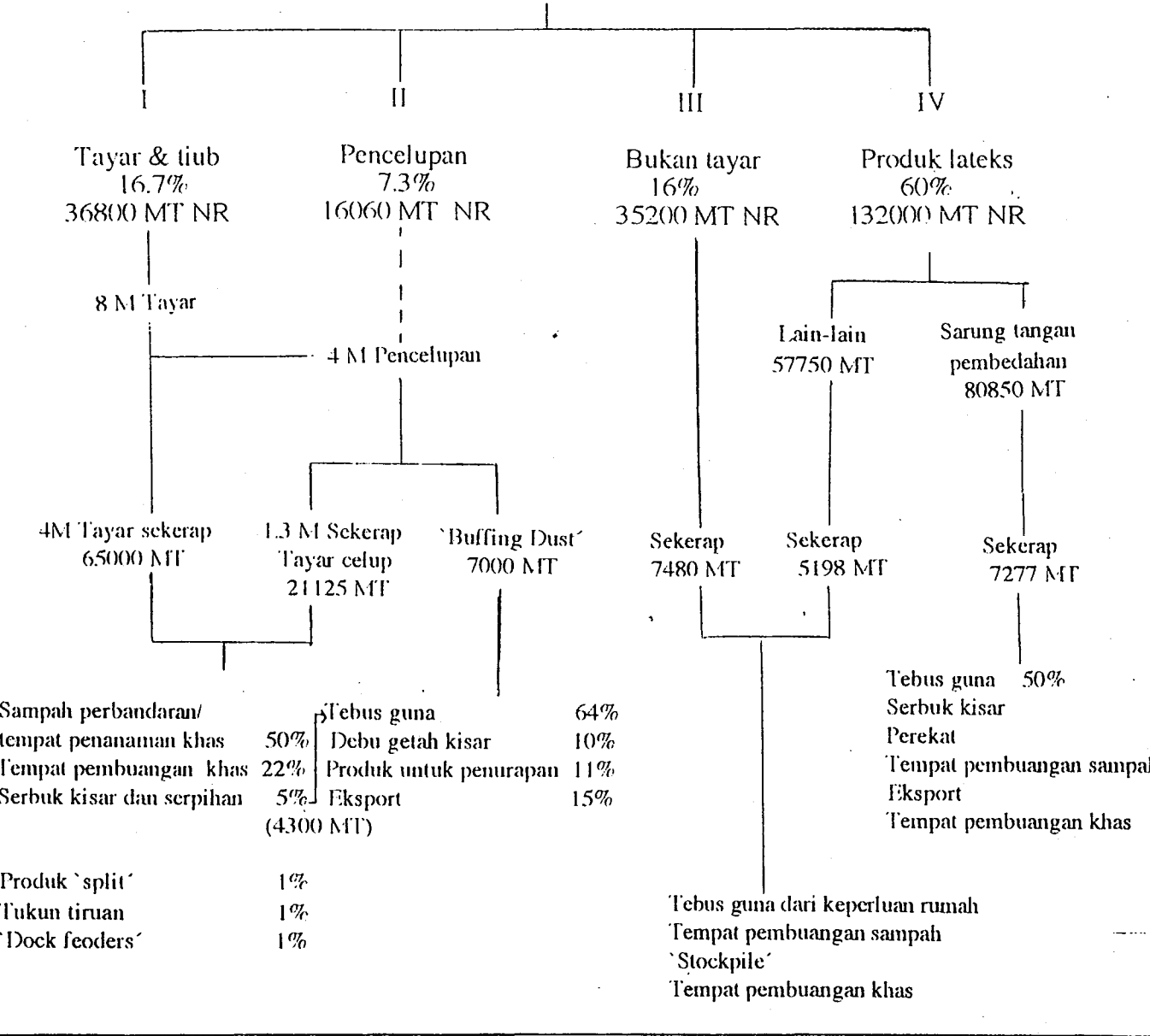
1.1.2 Sekerap Getah Asli di Malaysia

Rajah 1.1 menunjukkan bahawa 60% atau 132,000 MT dari penggunaan getah asli di Malaysia adalah dari produk lateks di mana 76,560 MT sekerap adalah dari sarung tangan pembedahan. Manakala selebihnya adalah dari hasilan lateks lain yang

tidak boleh diguna lagi seperti lateks lampau matang, lateks pra-pemvulkanan yang lama dalam penyimpanan, busa (10) dan sebagainya.

PENGUNAAN GETAH ASLI MENTAH

220,000 MT / tahun



Rajah 1.1: Corak taburan sekerap getah di Malaysia (5).

Lateks lampau matang adalah lateks yang telah mengalami pra-pemvulkanan yang berlebihan di mana ketumpatan sambung-silang yang wujud adalah tinggi atau telah mengalami proses reversi (11). Pun (12) mendapati bahawa produk lateks seperti sarung tangan dapat dihasilkan dengan melakukan gaulan lateks lampau matang bersama lateks tersebati tak tervulkan. Didapati bahawa sebanyak 25% lateks lampau matang bersama lateks tersebati tak tervulkan telah memberi kekuatan tensil 15.26 MPa (tanpa palarutlehan) dan ini memadai untuk menghasilkan sesetengah jenis sarung tangan industri. Manakala sebanyak 10% lateks lampau matang telah dapat ditambah kepada lateks tersebati sama jenis yang tak tervulkan tanpa mengakibatkan penurunan nilai kekuatan tensil yang banyak dibandingkan dengan kekuatan tensil filem yang dihasilkan dari lateks tak tervulkan tulen. Kajian juga menunjukkan bahawa lateks lampau matang telah dapat diguna sebagai bahan mentah dalam penyediaan serbuk getah (13).

1.2 Teknik-teknik Penghapusan Getah Sekerap

Getah adalah merupakan salah satu polimer yang menghasilkan paling banyak sisa terutamanya dari tayar, tiub, produk lateks dan lateks yang tak memenuhi spesifikasi pembuatan (5). Perkembangan industri automotif di Jepun menghasilkan pertambahan tayar kereta kepada 166 juta tayar pada tahun 1992. Jepun mengkitar semula lebih kurang 92% tayar terpakai termasuk untuk dieksport atau sebagai bahanbakar (14). Penggunaan tayar berjejari dan penggunaan getah sintetik dalam pembuatan tayar menjadikan pengitaran semula menjadi lebih kompleks. Teknik penghapusan sekerap dapat dibahagikan kepada 2 bahagian yang utama iaitu meliputi aktiviti penggunaan terus dan pengubahsuaian secara kimia pada sekerap.

1.2.1 Penggunaan Sekerap Secara Terus

Penghapusan sekerap getah secara terus dilakukan iaitu secara penanaman , pembakaran , menggunakannya sebagai produk seperti tayar celup dan terumbu tiruan

dan secara pengisaran.

A. Penanaman

Penanaman tayar di lakukan di kawasan penanaman khas (5) dan memerlukan keluasan 1 m² untuk setiap sepuluh biji tayar. Aktiviti penanaman tayar ini adalah mahal kerana tayar tidak akan terhapus dan akan terus kekal di tanah kerana ia tidak mengalami degradasi walaupun telah tertanam selama 50 tahun. Penghakisan tanah oleh tindakan hujan atau binatang menyebabkan tayar tertonjol keluar dan ini memburukkan permukaan tanah. Ia juga menjadi tempat penakungan air dan sebagai lokasi pembiakkan nyamuk dan tikus. Ini memberi masalah kepada alam persekitaran yang sepatutnya dikawal. Oleh itu langkah penanaman sekerap ini bukanlah satu langkah yang baik kerana tayar dibuang dan dibazirkan begitu sahaja serta mencemarkan alam semulajadi.

B. Pembakaran

Aktiviti pembakaran pada awalnya adalah bertujuan untuk melupuskan sekerap dengan cara yang mudah. Sekerap dari getah dapat menghasilkan sumber haba yang tinggi berbanding sumber haba dari arangbatu dan kayu. Tayar mempunyai 90% kandungan bahan organik dan mempunyai nilai pemanasan setinggi 32.6 MJ/kg berbanding arang batu yang hanya mengeluarkan 18.6 - 27.9 MJ/kg (15). Oleh itu ia telah dijadikan sebagai salah satu sumber tenaga (2,15 - 16). Penggunaan sekerap getah sebagai sumber bahanapi adalah merupakan satu alternatif yang baik. Pada tahun 1994, U.S. telah menggunakan sekerap sebanyak 101 juta tayar atau 40% dari sekerap yang terjana sebagai sumber bahan bakar di relau simen , industri pendidih dan sebagai sumber kuasa elektrik (16). Getah sekerap telah dijadikan sebagai sumber tenaga di USA, UK, Jepun, Mexico, Kanada dan Korea Selatan.

Langkah pembakaran ini bukanlah satu langkah penghapusan sekerap yang baik. Pencemaran toksik dari bahan kimia yang terdapat dalam tayar dan asap hitam yang terhasil semasa pembakaran telah menyebabkan pencemaran pada alam sekitar. Oleh itu pembakaran memerlukan relau khas yang dapat mengasingkan gas-gas dan asap yang terhasil ke satu tempat khas yang tidak akan terbebas ke udara. Ia juga memerlukan bekalan tayar yang banyak dan berterusan. Langkah-langkah ini memerlukan kos yang tinggi dan akan mengakibatkan peningkatan pada keseluruhan kos pembakaran.

C. Penggunaan Sekerap dari Getah sebagai Produk

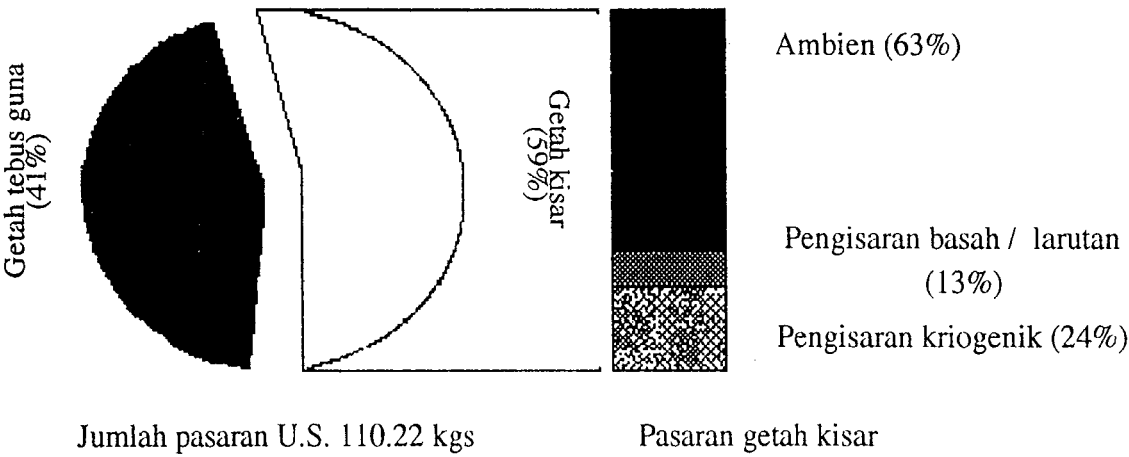
Getah sekerap dapat diguna secara terus sebagai produk seperti tayar celup, sebagai terumbu atau tukun tiruan, penternakan tiram dan jeti terapung. Kitar semula tayar sebagai tayar celup bertujuan memanjangkan jangka hayat tayar dan merupakan satu cara yang efisien untuk mengatasi masalah pembuangan sekerap tayar. Pencelupan ke atas tayar bas, trak dan tayar kapal terbang yang haus juga telah dijalankan (6). Industri tayar celup ini kurang meningkat diakibatkan dari hanya sebahagian kecil sahaja tayar yang sesuai untuk di celup dan sikap pengguna yang kurang mempercayai kualiti tayar celup ini berbanding tayar tulen.

Penggunaan sekerap tayar sebagai tukun atau terumbu tiruan juga telah dilakukan untuk mengatasi masalah pembuangan sekerap ini (17 - 18). Tayar yang diikat secara kumpulan ditenggelamkan ke dalam laut. Ia akan dilitupi oleh teritip dan hidupan laut lain dan ini akan menarik perhatian spesis-spesis ikan untuk bermain-main dan membiak di kawasan tersebut. Ia juga sesuai sebagai kawasan penternakan tiram (19) dengan menjadikan sekerap dalam saiz yang lebih kecil (13 x 18 cm). Tayar yang ditimbulkan di sekeliling tempat bot berlabuh pula dapat mencegah hentaman yang kuat pada pangkalan atau dijadikan jeti terapung (20). Penggunaan tayar sebagai tukun atau terumbu tiruan, kawasan penternakan tiram dan jeti ini dapat membantu penghapusan sekerap pada peratusan yang kecil kerana ia hanya melibatkan sejumlah bilangan tayar

yang kecil. Masalah yang akan timbul jika aktiviti ini dijalankan secara besar-besaran adalah menyebabkan keseluruhan permukaan laut akan dilitupi oleh tayar dan ini menyukarkan pergerakan bot-bot dan ditakuti bahan kimia dari tayar seperti ion-ion zink yang akan meresap keluar dari tayar dan menyebabkan pencemaran pada air laut.

D. Pengisaran

Proses pengisaran adalah merupakan cara kitar semula yang paling banyak dilakukan di USA pada tahun 1990. Ini dapat dilihat pada Rajah 1.2 di mana 59% iaitu 50 - 60 juta kg dari jumlah pasaran getah sekerap adalah secara pengisaran. Tiga cara pengisaran yang dijalankan adalah secara proses ambien atau mekanikal, proses basah atau larutan dan proses kriogenik.



Rajah 1.2: Pasaran kitar semula getah di U.S. pada 1990 (21).

a. Pengisaran Ambien/Mekanikal

Pengisaran ambien getah kasar menggunakan teknik pengisaran mekanikal seperti pengisar bergerigi, pengisar pelbagai jenis sekerap dan barang-barang dari getah (21). Pengisar ini hanya mengisar bahan getah sahaja. Oleh itu bahan-bahan lain seperti keluli dan gentian diasingkan terlebih dahulu secara mekanikal atau menggunakan

pemisah bermagnet (22). Getah kemudian dikisar kepada julat saiz partikel 600 - 2000 μm . Perbadanan Gould (23) menghasilkan lebih 90% serbuk getah yang bersaiz kurang dari 20 μm . Ia dapat menghasilkan produk yang mempunyai kualiti yang hampir sama dengan produk asal. Biasanya serbuk getah diguna sebanyak 5 - 20 bsg dalam formulasi.

Secara umumnya proses pengisaran dijalankan pada suhu bilik dan tidak melibatkan degradasi termal. Pada hakikatnya haba akan terjana semasa proses pengisaran dan pericihan getah dan memungkinkan proses oksidatif dan degradasi pada getah berlaku. Secara teori saiz serbuk adalah tidak sebetul. Ia mempunyai rerambut kecil yang akan melebur dan mudah berinteraksi dengan matriks getah asal bagi menghasilkan sebatian yang homogenus (21).

b. Pengisaran Basah/Larutan

Proses pengisaran ini melibatkan langkah memasukkan cebisan getah kasar (850 - 2000 μm) ke dalam bahantara cecair (biasanya air), dikisar menggunakan roda pengisar. Saiz partikel dapat dikawal oleh jangkamasa pengisaran dan menggunakan saiz skrin dalam julat 73.7 - 77 μm (24 - 25). Getah kisar basah diguna dalam kebanyakan kegunaan dalam tayar, tayar celup, tayar pepejal, pengacuanan dan pengestrudan. Jumlah penambahannya dalam formulasi adalah antara 5 - 20 bsg. Saiz partikel yang halus membenarkan pemprosesan yang baik serta penghasilan ekstrudat dan kepingan kalenderan yang licin.

c. Pengisaran Kriogenik

Secara am proses pengisaran kriogenik adalah terdiri dari penyejuk-beku getah sekerap di bawah suhu peralihan kaca dan penghancuran bahan rapuh tersebut dalam cecair nitrogen (6,20,25 - 26). Getah sekerap dijadikan ketulan getah kecil bersaiz 15 x 15 cm. Cecair nitrogen disembur sehingga suhu ketulan mencapai -60°C hingga -100°C .

Bahan ultra-sejuk ini terus disuapkan ke penggiling-penukul yang akan menghancurkannya kepada saiz partikel yang lebih kecil. Kemudian ia disuapkan ke sistem gelung tertutup yang bersambung ke penapis yang dapat memisahkan antara serbuk getah, gentian dan logam melalui pemisah magnet (28). Saiz partikel getah kasar dikawal oleh jangkamasa rendaman dalam cecair nitrogen dan saiz penapis pada pengisar, suhu getah kasar keluar dan halaju rotor penggiling (29 - 30). Saiz partikel yang terhasil adalah dalam julat 150 -2000 μm . Pengisaran cara ini dapat mengawal dari berlakunya oksidatif kerana dilakukan dalam keadaan bernitrogen (21). Hasil dari pengisaran kriogenik diguna dalam tayar, hos, tali, dalam asfalt, permukaan olahraga dengan kombinasi bersama uretana atau perekat lateks, pengacuanan khas dan penggunaan penyalutan dan dispersi bagi dakwat pencetakan

1.2.2 Pengubahsuaian Kimia pada Sekerap

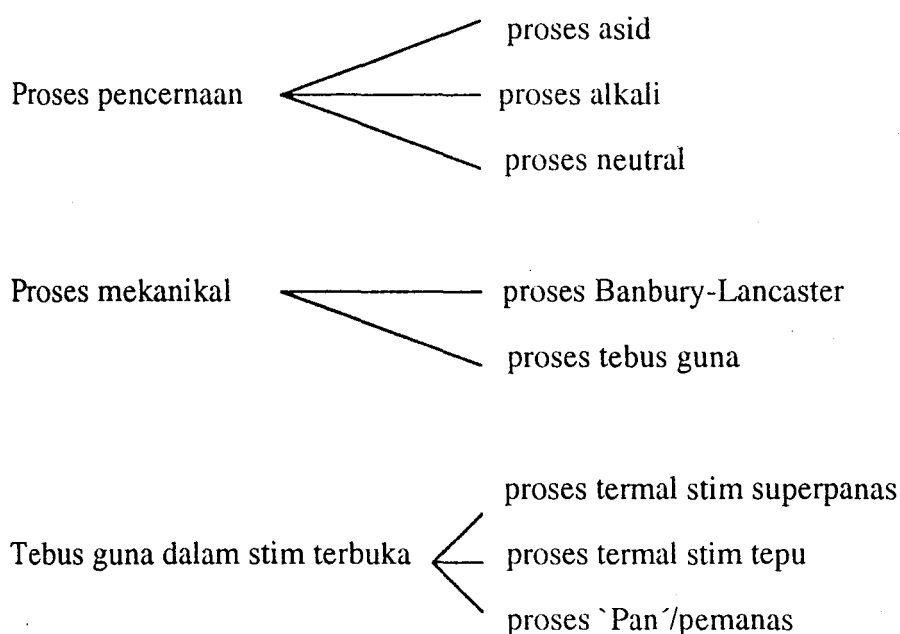
Pengubahsuaian kimia dilakukan kepada sekerap untuk mengurangkan sambung-silang atau penyahvulkanan pada sekerap bagi memperolehi getah yang mempunyai sifat-sifat yang hampir sama dengan getah asal atau menghasilkan komponen-komponen bahan yang dapat diguna semula. Proses kimia yang dilakukan untuk tujuan ini adalah secara tebus guna dan pirolisis.

A. Tebus Guna

Ball (22) mendefinisikan tebus guna sebagai produk yang dihasilkan dari pengolahan sekerap tayar getah kasar tervulkan, tiub dan pelbagai jenis sisa getah dengan mengenakan pemanasan dan penggunaan agen bahan kimia diikuti oleh langkah kerja mekanikal. Ini akan menyebabkan berlakunya penyahvulkanan atau penjanaan komponen getah kepada keadaan asalnya dan membenarkan hasil disehati, diproses dan divulkan semula. Penyahvulkanan adalah merupakan satu proses pengguntingan rantai karbon-karbon dan membentuk tapak radikal bebas yang cenderung bergabung semula

atau bertindakbalas dengan oksigen dari atmosfera. Ia adalah merupakan proses yang berlawanan dari proses pemvulkanan.

Pada peringkat awal industri tebus guna, pemprosesan hanya dilakukan kepada getah sekerap sahaja. Perkembangan industri automotif telah memajukan tayar pneumatik berjejari dan getah berpengukuh gentian. Ini memerlukan satu langkah tambahan yang bertujuan memisahkan gentian-gentian ini sebelum proses tebus guna dapat dilakukan. Penggunaan getah sintetik dan gabungan elastomer sintetik dan getah asli menyebabkan proses tebus guna ini memerlukan agen tebus guna yang lebih kuat dan memerlukan getah yang lebih halus untuk memudahkan penyerapan minyak untuk mendapatkan getah tebus guna yang baik.



Rajah 1.3: Proses tebus guna dalam industri getah (31).

Langkah awal dan akhir bagi proses tebus guna adalah mengikut turutan langkah yang sama. Pada peringkat awal sekerap tayar mengalami peretakan dengan melalukannya melalui penggiling keluli yang akan memisahkan getah sekerap dari wayar atau gentian. Kemudian sekerap kasar ini dilalukan pada penapis bergetar. Sekerap yang

masih kasar akan disuap kembali pada penggiling keluli. Gentian dan bahan logam akan dipisahkan dari getah apabila melalui pemisah magnet. Getah tebus guna yang terhasil akan dikumpul dan diproses secara pencernaan, mekanikal atau tebus guna dalam stim terbuka sebagaimana dalam Rajah 1.3.

a. Proses Pencernaan (Digester)

Sekerap getah yang biasa diguna bagi proses pencernaan ini adalah sekerap tayar. Sekerap yang telah digaul bersama minyak dan penambah pemprosesan dimasukkan ke dalam autoklaf atau tangki dalam keadaan berstim bersama-sama air dan logam klorida yang akan menyahkan gentian yang masih ada pada sekerap. Proses pencernaan dilakukan pada julat suhu $125 - 225^{\circ}\text{C}$ ($1.01 - 1.70 \text{ MPa}$) selama 4 hingga 10 jam. Pengadukan dilakukan untuk memastikan pengagihan stim yang seragam ke atas cebisan getah. Setelah penyahvulkanan, bahan akan ditiup ke dalam tangki untuk proses pengeringan dalam aliran udara panas yang dikawal kadar kelembapannya. Sekerap kering ini sedia untuk proses peringkat akhir (22,32 - 33).

b. Proses 'Pan'

Sekerap dari tiub getah butil dan getah asli yang bebas dari gentian biasanya di proses secara proses 'pan' ini. Sekerap getah disuap ke pemisah gentian untuk memastikan sekerap getah adalah bebas dari gentian. Gentian diasingkan dan melalui proses pengisaran. Gaulan getah sekerap dan agen tebus guna (15,21,31) dimasukkan ke autoklaf bertekanan stim pada julat suhu $124 - 195^{\circ}\text{C}$ ($1.01 - 1.42 \text{ MPa}$) selama 3 hingga 8 jam. Penggunaan proses 'pan' ini terhad kepada jenis khas seperti tebus guna getah asli berwarna cerah.

2. Proses Mekanikal (Reclamation)

Proses mekanikal seperti cara Banbury-Lancaster diguna secara berterusan untuk kesemua sekerap tayar tanpa gentian. Minyak dicampur kepada cebisan getah halus (600 μm) di dalam ekstruder bertekanan tinggi pada suhu 175 - 205°C (5.5 - 6.9 MPa). Pericihan campuran getah pada dinding barel-ekstruder ini akan menyahvulkan sekerap getah dalam masa 5 minit .

Peringkat akhir proses tebus guna (15,21 - 22) adalah melibatkan proses penyebatian getah tebus guna bersama-sama pengisi seperti hitam karbon dan tanah liat untuk mengubahsuai dan menentukan sifat-sifat akhir produk yang diperlukan. Kemudian sebatian dilalukan pada penggiling untuk menjadikannya lebih homogenus. Kepingan setebal 0.025 cm disuap ke ekstruder yang mempunyai penapis yang akan mengeluarkan logam tak magnetik atau bahan asing. Penggilingan terakhir bertujuan mengeluarkan butiran getah keras. Getah tebus guna dibungkus dalam bentuk palet, bandela atau serbuk untuk pasaran. Secara umum tebus guna melibatkan tindakan-tindakan berikut :

- a. Pengurangan berat molekul produk dibandingkan dengan getah baru.
- b. Penguntingan rantai akan menyebabkan peningkatan pembengkakan gel dan pengurangan kandungan gel.
- c. Sistem heterogenus bagi dispersi serpihan sambung-silang dalam komponen plastik dihasilkan dan bertindak bagi memudahkan pemprosesan.
- d. Kandungan hidrokarbon tak tepu dalam getah tebus guna tidak berubah.
- e. Sebanyak 0.5 - 20.0% per berat agen tebus guna seperti aromatik merkaptan, fenol alkil sulfida dan disulfida (21) diguna bagi mempercepatkan penyahvulkanan dan memprolehi sifat akhir yang diperlu.
- f. Agen penyahgentian seperti asid lemak dan logam klorida (34) akan mempengaruhi tindakbalas semasa penyahvulkanan.

Pirolisis atau penulinan 'destructive' adalah merupakan satu proses yang dapat menukarkan getah sekerap kepada produk yang berguna seperti sumber bahan api, gas, minyak, hitam karbon, bahan kimia dan resin (32 - 35). Pirolisis boleh dijalankan dalam keadaan lengai, oksidatif atau stim (6).

Proses pirolisis yang popular adalah Tosco-II yang bertujuan memaksimumkan kualiti hitam karbon (15,32 - 35). Getah sekerap yang dipotong kecil dimasukkan ke dalam bekas berputar yang mengandungi bebola seramik pada suhu 480 - 549°C pada keadaan atmosfera rendah. Getah akan dipirolisis dan membentuk sisa pepejal, wap minyak, gas, pecahan kondensasi minyak dan gas yang diguna untuk memanaskan bebola seramik tersebut. Penapis 'trommel' memisahkan hitam karbon dan bebola seramik. Hitam karbon dipisahkan dari gentian kaca, keluli dan bahan-bahan tercemar lain dan dijadikan bentuk palet. Gas yang terbebas adalah gabungan gas etilena, propilena dan butilena. Minyak pula mengandungi 1% sulfur dan dapat digunakan terus sebagai minyak bahanapi. Logi ini dapat memproses sebanyak 13.5 tan tayar setiap hari dan menjanakan 0.5 - 0.6 m³ minyak, 1270 - 1540 kg hitam karbon, 190 - 220 kg keluli dan 154 - 176 kg gentian kaca. Hitam karbon ini diguna dalam produk getah dan tayar, sebagai pigmen untuk cat, dalam industri plastik dan kosmetik dan dakwat dalam industri percetakan (36).

1.3 Penggunaan Getah Sekerap dan Kesan pada Sifat-sifat Produk

Kajian terhadap getah kitar semula seperti getah kisar atau serbuk getah dan getah tebus guna telah dilakukan bertujuan untuk meningkatkan penggunaan semula sekerap. Penggunaan serbuk getah dan getah tebus guna secara sendirian tanpa penambahan getah baru telah dijalankan dengan mengkaji kesan penambahan 'curative' (agen sambung-silang dan pemecut) ke atas sifat vulkanisat akhir. Produk sekerap seperti serbuk dan

getah tebus guna juga digunakan sebagai pengisi dan 'cheapener' dalam penyebatian getah kering.

1.3.1 Penggunaan Getah Sekerap Sahaja

Getah kisar yang berasal dari sekerap tayar boleh diguna secara bersendirian. Acetta dan Vergnaud (37 - 38) telah menjalankan kajian bagi meningkatkan gred serbuk getah dari getah sekerap tanpa penambahan getah baru. Serbuk getah dihasilkan dari proses pengisaran kriogenik dan mempunyai saiz partikel dalam julat 300 - 900 μm . Pengacuanan mampatan serbuk getah dilakukan dengan mengenakan tekanan dan suhu. Peningkatan tekanan dari 10 ke 30 MPa pada serbuk getah selama 10 minit pada 160°C dapat meningkatkan nilai kekuatan tensil dari 0.6 kepada 1.5 MPa. Penambahan peratusan agen sambung-silang telah meningkatkan kekuatan tensil, M100 dan kekerasan dan menurunkan nilai pemanjangan pada takat putus (37). Walau bagaimanapun kesan tekanan ke atas sifat vulkanisat tidak diperhati dengan penambahan 'curative' ini.

Kesan penambahan kepekatan 'curative' telah dikaji ke atas sifat vulkanisat dari getah kisar dalam sebatian getah asli. Pengubahsuaian ini dilakukan bertujuan mencari takat optimum 'curative' yang boleh ditambah bagi memperolehi kekuatan vulkanisat optimum. Didapati bahawa penambahan pada sulfur dan CBS sebanyak 4 dan 1.6 bsg telah memberi kekuatan tensil optimum. Setiap sebatian menunjukkan peningkatan dalam kelikatan Mooney dan pengurangan pada masa pematangan (39).

Phadke dan rakan-rakan (40) pula mengkaji penggunaan getah tebus guna tanpa penambahan getah baru dengan mempertimbangkan kesan penambahan 'curative' ke atas sifat vulkanisat. Kelikatan Mooney yang tinggi didapati dengan penambahan getah tebus guna akibat kehadiran rangkaian sambung-silang dalam NR tulen. Penambahan sulfur sahaja bersama getah tebus guna telah memberi sifat vulkanisat yang buruk berbanding vulkanisat asal dan memberi ketumpatan sambung-silang yang lebih rendah. Ini

menunjukkan berlakunya degradasi atau pengguntingan rantai semasa proses penggilingan. Penambahan sulfur dan CBS telah meningkatkan sifat vulkanisat. Kehadiran zink kompleks dari CBS akan bertindakbalas bagi pembentukan sambung-silang dalam vulkanisat dan ini memberi sifat yang lebih baik. Didapati bahawa penambahan ZnO dan asid stearik hanya meningkatkan sedikit sifat vulkanisat. Turutan penambahan sulfur, sulfur dan CBS serta sulfur, CBS, ZnO dan asid stearik dalam penyebatian getah tebus guna telah meningkatkan kekuatan tensil, M300, pemanjangan pada takat putus, kekerasan dan resiliens serta mengurangkan masa pematangan dan set mampatan.

1.3.2 Penggunaan Getah Sekerap sebagai Pengisi dan 'Cheapener'

Produk sekerap seperti serbuk dan getah tebus guna digunakan sebagai pengisi dan 'cheapener' dalam penyebatian getah kering. Evans (41) mendapati bahawa sifat vulkanisat bagi penyebatian serbuk NBR adalah lebih tinggi berbanding dengan penggunaannya dalam bentuk getah pukal. Peningkatan nilai sifat-sifat vulkanisat ini adalah kekuatan tensil dari 10.69 kepada 12.58 MPa, pemanjangan pada takat putus dari 160 kepada 220%, kekerasan dari 87 kepada 89 Shore A dan masa pematangan dikurangkan dari 25.8 kepada 19.3 minit. Satu fenomena yang luarbiasa bagi penyebatian menggunakan serbuk ini diperolehi di mana kekuatan tensil dan pemanjangan pada takat putus meningkat pada takat yang sama dengan penambahan serbuk getah. Fenomena ini berlaku akibat dari dispersi serbuk yang baik dan kurangnya pengguntingan rantai semasa proses mastikasi sebatian menggunakan serbuk ini.

A. Penggunaan Getah Sekerap sebagai Pengisi

Kajian awal mendapati bahawa serbuk getah hanya boleh ditambah kurang dari 10% untuk memperolehi sifat vulkanisat yang stabil (24,27,42). Penambahan serbuk getah dalam sebatian akan meningkatkan kelikatan Mooney dan menurunkan sifat-sifat

vulkanisat. Walau bagaimanapun penambahan peratusan kandungan serbuk getah dan menggunakan saiz partikel serbuk getah yang lebih halus akan meningkatkan sifat vulkanisat ini (42 - 44).

Phadke dan rakan-rakan (39) menggunakan serbuk getah bersaiz partikel $420\text{ }\mu\text{m}$ dalam penyebatian bersama getah asli. Penambahan serbuk getah dalam sebatian telah meningkatkan kelikatan Mooney, M300, kekerasan dan set mampatan, manakala masa pematangan, ketumpatan sambung-silang, kekuatan tensil, pemanjangan pada takat putus dan resiliens telah menurun. Kesan yang sama diperhati dengan penambahan serbuk getah dari 15 ke 60 bsg dalam sebatian kecuali berlaku peningkatan dalam ketumpatan sambung-silang. Kesan ini turut diperhati dengan meningkatkan kandungan hitam karbon (kandungan serbuk getah adalah tetap) dalam sebatian. Pada kandungan serbuk getah 45%, penambahan kandungan hitam karbon dari 20 kepada 60 bsg telah meningkatkan kelikatan Mooney dari 20 kepada 41, M300 dari 10.5 kepada 18.70 MPa, set mampatan dari 71 kepada 74% dan ketumpatan sambung-silang dari 68.6 kepada 75.9 mmol/kg RH dan menurunkan masa pematangan dari 6.5 kepada 6.3 minit, pemanjangan pada takat putus dari 440 kepada 360% dan resiliens dari 80 kepada 61%. Kekuatan tensil mencapai optimum pada kandungan 40 bsg hitam karbon.

Swor dan rakan-rakan (45) menggunakan getah kisar halus dari proses mekanikal yang menghasilkan 90% serbuk getah yang mempunyai purata saiz partikel berdiameter kurang dari $20\text{ }\mu\text{m}$. Penyebatian dilakukan bersama getah SBR 1500 dalam sebatian terisi hitam karbon N330 HAF dari kandungan serbuk getah 50 - 150 bsg. Didapati bahawa penambahan getah kisar halus optimum adalah sebanyak 50 bsg, telah meningkatkan masa pematangan, kekuatan tensil dan pemanjangan pada takat putus dari 21.5 kepada 22 minit, 22.2 kepada 22.9 MPa dan 380 kepada 440% berbanding vulkanisat tanpa serbuk getah. Manakala itu nilai M300 dan kekerasan dikurangkan dari 17.3 kepada 13.7 MPa dan 68 kepada 67 Shore A. Pengekalan kekuatan tensil pada kandungan serbuk getah yang tinggi ini menunjukkan wujudnya ikatan yang kuat antara partikel serbuk getah

kepada matriks.

B. Penggunaan Getah Sekerap sebagai 'Cheapener'

'Cheapener' adalah merupakan satu bahan yang ditambah bertujuan untuk menggantikan nisbah tertentu kandungan bahan mentah dalam penyebatian getah kering. Penggunaan sekerap ini dapat mengurangkan kos penghasilan produk akhir.

Phadke dan rakan (40) telah mengkaji penggunaan getah tebus guna dalam penyebatian getah asli dengan pengubahsuaian kandungan pengisi, 'curative', pengaktif mengikut kandungan getah tebus guna. Peningkatan kandungan getah tebus guna dalam sebatian telah meningkatkan kelikatan Mooney, set mampatan dan kekerasan serta mengurangkan masa pematangan, M300 dan resiliens. Kekuatan tensil dan pemanjangan pada takat putus mencapai nilai optimum pada nisbah NR kepada getah tebus guna pada 75 : 25. Pada kekuatan tensil maksima ini, ketumpatan sambung-silang adalah rendah.

Klingsmith (24) mendapati bahawa penambahan sebanyak 10% getah kitar semula dapat memberi sifat vulkanisat yang stabil. Sifat-sifat vulkanisat yang lebih baik diperolehi jika menggunakan getah kisar berbanding getah tebus guna. Secara umum penambahan getah kisar ini telah menurunkan nilai kekuatan tensil, modulus dan kekerasan serta meningkatkan nilai pemanjangan pada takat putus dan set mampatan.

1.3.3 Penggunaan Sekerap dalam Bitumen

Penggunaan serbuk getah dalam bitumen diguna dalam pembinaan jalan raya sebagai pengikat (binder) jalan. Ia bertujuan mengurangkan kerapuhan dan kesensitifan terhadap suhu, memperbaiki rekahan dalam sambungan konkret, mengurangkan keupayaan untuk mengalir, meningkatkan takat lembut dan meningkatkan kekuatan dan keelastikan. Partikel getah akan terserak di antara bitumen dan menyerap bahagian

hidrokarbon dalam bitumen serta merencatkan pemeruapan minyak dan mengurangkan geseran gelinciran pada permukaan jalan. Ketulan getah yang berasaskan dari seke, dihancurkan dalam pengisar atau penukul . Sebanyak 20% anti-aglomerat dicampur dan disebarkan dalam leburan bitumen pada takat didih 'wax' panas. Antioksidan, peptiser, anti bakteria seperti sodium pentaklorofenat ditambah untuk mencegah bau dan serangan kulat dalam jangka masa penyimpanan yang panjang (46).

Perubahan sifat adalah bergantung pada jenis atau kuantiti getah yang digunakan. Jones (47) mendapati sebanyak 2% kandungan serbuk getah dalam bitumen sudah mencukupi untuk mencapai kestabilan dan meningkatkan sifat yang diperlukan. Keadaan asal bitumen dan penyediaan gaulan getah/bitumen juga turut mempengaruhi sifat akhir.

1.3.4 Penggunaan Sekerap dalam Perekat

Penggunaan serbuk dalam pembuatan perekat dapat mempercepatkan proses dan menjimatkan kos peralatan. Keadaan yang diperlukan untuk memperolehi sifat perekat yang baik adalah dengan wujudnya keserasian yang baik di antara sistem pelarut dan agen peleraian (diguna semasa pembuatan serbuk). Serbuk getah kloroprena dalam formulasi perekat dapat memberi kekuatan rekatan ricih yang baik pada keluli (48). Serbuk getah silikon diguna dalam formulasi pengubahsuaian resin dan varnis silikon. Minyak silikon iaitu minyak yang mengandungi busa dan serbuk silikon disalut pada kepingan keluli untuk memberi rintangan cuaca yang baik dan rintangan kepada perekatan gam pada poster dan label pelekat (49).

1.3.5 Lain-lain

Serbuk getah dapat diguna dalam penyebatian bersama plastik disebabkan ia dapat memberi sebatian yang homogenus tanpa mengganggu pemprosesan atau peralatan khas. Getah butil diguna dalam formulasi LDPE dalam penyediaan beg rintangan-ketelapan

untuk kimia pertanian dan makanan binatang. Kehadiran getah ini dapat meningkatkan ketahanan terhadap air, oksigen dan karbon dioksida. Getah butil diguna dalam resin PVC sebagai pengubahsuaian hentaman dan dapat menggantikan plastisiser dalam gaulan PVC/ABS. Ini disebabkan kehadirannya dapat meningkatkan keserasian pada gaulan, rintangan haus dan rintangan pelelasan (50).

Serbuk getah diguna untuk menjerap bahan larut-minyak dalam larutan. Serbuk akan dituras dan bahan larut-minyak diekstrak menggunakan pelarut yang sesuai. Kerotena diekstrak dari larutan saponi minyak sawit berwarna gelap dan kemudian karotena diekstrak dari getah menggunakan isobutanol atau keton panas (51).

Lapisan getah berguna dalam bidang sukan dengan mempunyai rintangan paku tapak kasut sukan yang baik, permukaan tapak olahraga dan taman permainan (52). Serbuk getah juga diguna dalam resin epoksi untuk peredam getaran dan penyerap bunyi. Serbuk getah nitril menggantikan getah pukal dalam penyediaan gaulan getah-gentian asbestos untuk pengalas brek dan meningkatkan kekuatan dan rintangan haus bagi formulasi gaulan bersama resin fenolik (53 - 54). Ia memberi taburan gentian yang seragam dan memendekkan masa pemprosesan serta sifat geseran yang lebih baik berbanding gaulan biasa dan rintangan termal geseran yang tinggi pada suhu rendah dan tinggi ($\leq 300^{\circ}\text{C}$).

1.4 Masalah yang Berkaitan dengan Penggunaan Getah Sekerap

Sisa-sisa dari getah ini biasanya diproses dan menghasilkan produk akhir dalam bentuk serbuk. Penghasilan serbuk ini adalah berasaskan pada cara penghasilan serbuk dari getah tulen dalam bentuk bandela atau lateks. Sekerap getah ini diproses berdasarkan pada getah bandela dengan sedikit pengubahsuaian pada peralatan seperti pengestrud (dengan pengubahsuaian skru) dan pencampur. Penggunaan lateks dalam penyediaan serbuk melibatkan penggunaan surfaktan, agen peleraian dan sebagainya. Sifat-

sifat lateks sintetik ini adalah berbeza dengan lateks getah asli, maka banyak pengubahsuaian yang perlu dilakukan untuk menghasilkan serbuk getah dari getah asli . Di antara masalah yang dihadapi dari penggunaan bahan-bahan dalam bentuk serbuk ini adalah seperti berikut (55) :

- a. Pengaglomeratan partikel semasa pengangkutan dan penyimpanan . Fenomena ini dikenali sebagai pemadatan. Ini menjadikan bahan tidak lagi beraliran bebas. Kehadiran agen peleraai dapat mencegah pemadatan ini, tetapi biasanya pemadatan digalakkan berlaku semasa penyimpanan dalam jangkamasa yang panjang, pada suhu yang tinggi dan di bawah tekanan. Walaupun tekanan tidak wujud, serbuk di bahagian bawah kontena akan tertekan akibat berat serbuk di bahagian atasnya;
- b. tanpa kehadiran langkah pencampuran lazim, keupayaan pengukuh butiran butiran pengisi tidak sepenuhnya wujud. Untuk perkembangan pengukuh, ia memerlukan gaulan getah-pengisi dengan ricihan yang tinggi yang tidak akan diperolehi dengan pencampuran biasa ;
- c. serbuk getah mempunyai ketumpatan separuh dari getah pukal, maka kos penghantaran dan penyimpanan adalah lebih tinggi. Pengguna perlu menambah kos sebagaimana pertambahan kos dalam penghasilan getah ini ; dan
- d. getah yang boleh dikomersialkan hanya dalam julat yang kecil. Peluasan penggunaan serbuk getah secara am hanya dapat berkembang dengan wujud lebih banyak jenis getah yang boleh dihasilkan dalam bentuk serbuk.

Manakala bagi kitar semula dari proses tebus guna (4), terdapat penghadan sebagaimana yang tersenarai seperti berikut :

- a. Dari segi teknikal pemvulkanan telah menurunkan 30 - 70% sifat fizikal dari keadaan asal. Ia memerlukan teknik yang lebih baik untuk mengatasi masalah ini ;

- b. penggunaan getah sintetik dalam tayar menyukarkan proses kerana memerlukan langkah pengasingan jenis getah sebelum pemprosesan kerana memerlukan suhu dan tekanan yang tertentu untuk proses tebus guna ini ;
- c. pencinta atau pemelihara alam sekitaran tidak menggalakkan proses ini kerana ia menyebabkan pencemaran dari pembakaran dan asap yang terhasil ; dan
- d. Pengenalan tayar berjejari memerlukan langkah khas bagi pengasingan keluli sebelum getah dapat ditebus guna.

1.5 Pengisi

Pengisi adalah satu bahan penambah yang dicampur dalam sebatian polimer bertujuan untuk mengurangkan kos sebatian dan/atau meningkatkan kelakuan pemprosesan dan/atau mengubahsui sifat produk (56). Pengkelasan pengisi yang utama adalah sebagai pengisi tak organik dan pengisi organik di mana ia wujud dalam bentuk gentian atau butiran. Pengisi tak organik yang biasa diguna adalah hitam karbon, kalsium karbonat, titanium dioksida, silika (butiran) dan gentian kaca serta asbestos (gentian). Kebanyakan pengisi organik wujud dalam bentuk gentian seperti pulpa kertas, pulpa kayu, lignin dan fabrik kapas.

Pengisi juga dapat dibahagikan berasaskan pada sifat pengukuhanannya kepada vulkanisat akhir iaitu pengisi pengukuh, semi-pengukuh dan pengisi bukan pengukuh. Pengisi pengukuh seperti hitam karbon adalah pengisi yang dapat memberi sifat pengukuhan seperti meningkatkan modulus dan sifat kegagalan seperti tensil, rintangan koyak dan rintangan pelelasan pada vulkanisat akhir (56,57). Pengisi bukan pengukuh dicampur bertujuan untuk mengurangkan kos dan meningkatkan kekerasan tanpa memberi kesan pengukuhan. Manakala pengisi semi-pengukuh menghasilkan vulkanisat yang mempunyai sifat-sifat di antara pengisi pengukuh dan pengisi bukan pengukuh.

1.5.1 Ciri Pengisi

Tindakbalas butiran pengisi pada elastomer bergantung pada faktor ekstensiti, intensiti dan geometrik (57,58) yang diterangkan dengan ringkas seperti berikut :

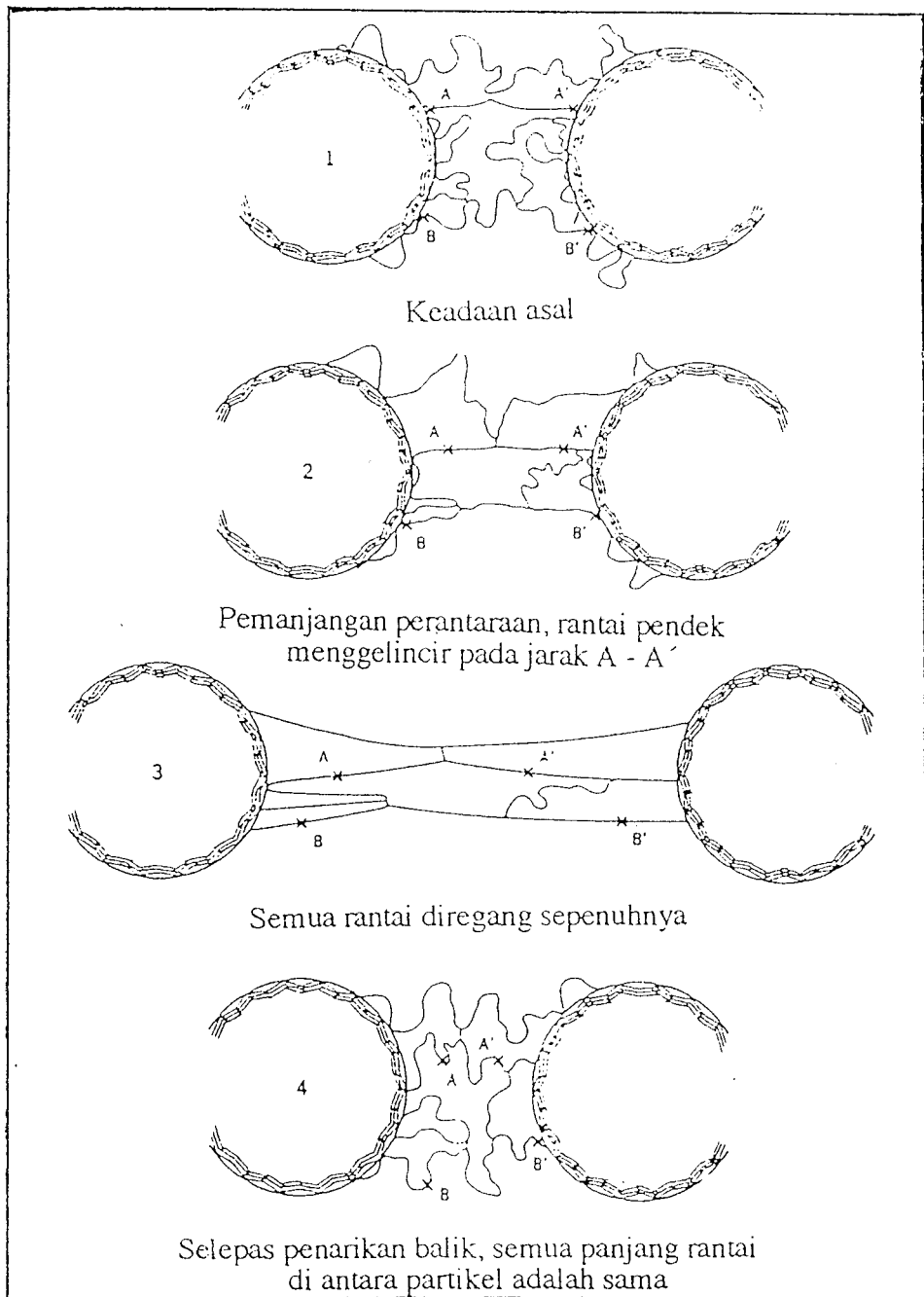
- a. Faktor ekstensiti - jumlah amoun luas permukaan pengisi per cm^3 sebatian yang menyentuh elastomer. Semakin kecil saiz partikel semakin besar luas permukaan pengisi yang dapat berinteraksi dengan matrik. Ini akan meningkatkan sifat pengukuhan.
- b. Faktor intensiti - aktiviti spesifik permukaan pepejal per cm^3 antaramuka, ditentukan oleh keadaan semulajadi fizikal dan kimia permukaan pengisi dalam hubungannya dengan elastomer. Pengisi seperti hitam karbon mempunyai kumpulan berfungsi seperti karboksilik, kuinon dan lakton yang akan bertindakbalas dengan elastomer. Elastomer berkutub seperti neoprena dan getah nitril berinteraksi dengan baik pada permukaan yang mempunyai kumpulan dwikutub seperti OH dan COOH. Interaksi yang baik antara permukaan pengisi dan elastomer akan memberi kesan pengukuhan dan sifat vulkanisat yang baik.
- c. Faktor geometrik - meliputi dua bahagian iaitu struktur pengisi dan keporosan pengisi (faktor minor) hitam karbon. Hitam karbon hadir sebagai partikel agregat dan secara kasar berbentuk sfera. Gabungan agregat ini (agregat primer) yang menentukan saiz 'struktur' dan kesannya pada sifat vulkanisat. Semakin banyak agregat primer, semakin besar 'struktur'. Isipadu ruang kosong pada 'struktur' akan diisi oleh matriks yang terperangkap semasa pericihan. Oklusi matriks ini bersifat sebagai pengisi dan turut menyumbangkan kesan pengukuhan pada vulkanisat. Manakala keporosan pada pengisi adalah sangat kecil untuk dimasuki oleh matriks. Ia hanya memberi kesan sekunder pada pengukuhan. Luas permukaan di bahagian luar lebih efektif bagi sifat pengukuhan ini.

1.5.2 Mekanisma Pengukuhan

Kekuatan tensil getah tak-hablur seperti SBR, NBR dan EPDM adalah rendah sebab taburan tegasan tak seragam. Pada suhu tinggi, pembentukan sambung-silang adalah rawak dan menyebabkan pergerakan molekul rantai pada bahagian yang tak sesuai. Ini menyebabkan tindakbalas rawak pada rantai panjang dan mewujudkan mikro tegasan tempatan. Apabila ujian tensil dijalankan, bilangan rantai pendek atau rantai yang dikenakan tegasan akan cepat putus dan hanya sedikit rantai yang memegang beban sebelum sampel putus. Jika rantai yang dikenakan terikan diberi peluang menggelincir (untuk melegakan tegasan), sampel akan putus pada terikan yang lebih panjang.

Rajah 1.4 menunjukkan gelinciran molekul yang berlaku bagi mekanisma pengukuhan (57,58). Disini digambarkan tiga rantai dengan panjang yang berbeza terletak pada arah tegasan di antara dua partikel rantai karbon hitam. Apabila proses regangan berlaku (keadaan 1), rantai pertama menggelincir pada titik sambungan A dan A' sehingga rantai kedua juga mengalami regangan di antara B dan B' (keadaan 2). Pemanjangan seterusnya berlaku sehingga gelinciran pada keadaan 3 dicapai di mana ketiga-tiga rantai mengalami peregangan maksimum dan berlakunya pengagihan beban pada partikel.

Taburan tegasan yang homogenus memberi kekuatan yang tinggi. Pada keadaan 4, tegasan dilepaskan dan sampel ujian tersentak tetapi berbeza dengan keadaan asalnya (keadaan 1). Ini disebabkan kini ketiga-tiga rantai mempunyai panjang yang sama. Pemanjangan kedua akan memberi modulus yang rendah, kerana tenaga gelinciran tidak sempurna seperti asal. Ia menerangkan kesan Mullins atau kelembutan tegasan. Di sini kekuatan tensil tinggi disebabkan tenaga yang dipelukan untuk menggelincir adalah tinggi.



Rajah 1.4: Model gelinciran molekul bagi mekanisma pengukuhan pengisi (57,58).

Prinsip pengukuhan pengisi juga dapat digambarkan merujuk pada Rajah 1.5. Didapati bahawa rantai yang paling banyak mengalami bebanan atau rantai pendek akan menjadi punca kegagalan. Rantai yang putus ini akan mengagihkan beban pada rantai jiran yang bersebelahan, jika beban yang terlalu tinggi akhirnya sampel akan putus. Dengan wujudnya pengisi dalam sebatian, lebih banyak rantai yang dapat berkongsi beban dan ini memberi kesan pengukuhan.